

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Моделирование процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций для ядерного топлива уран-ториевого цикла

УДК 621.039.543.:66.011:533.9.091:546.791-31

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5Д	Тихонов Алексей Евгеньевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Каренгин А.Г.	к.ф.-м.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Новосёлов И.Ю.	—		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШИП	Конотопский В.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ядерная физика и технологии	Бычков П.Н.	к.т.н.		

Томск – 2019

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения
Профессиональные компетенции	
P1	Способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, расширять и углублять свое научное мировоззрение.
P2	Готовность к созданию новых методов расчета современных физических установок и устройств, разработке методов регистрации ионизирующих излучений, методов оценки количественных характеристик ядерных материалов.
P3	Способность применять экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований в профессиональной области.
P4	Способность самостоятельно выполнять экспериментальные или теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современной техники и методов расчета и исследования
P5	Способность оценивать риск и определять меры безопасности для новых установок и технологий, составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения.
P6	Способность провести расчет, концептуальную и проектную проработку современных физических установок и приборов
P7	Способность формулировать технические задания, использовать информационные технологии и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете физических установок, использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов.
P8	Способностью к анализу технических и расчетно-теоретических разработок, к учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам.
P9	Способность на практике применять знание основных понятий в Области интеллектуальной собственности, прав авторов, предприятия-работодателя, патента обладателя, основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
P10	Способность проводить поиск по источникам патентной информации, определять патентную чистоту разрабатываемых объектов, подготавливать первичные материалы к патентованию изобретений, официальной регистрации компьютерных программ и баз данных

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа – Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (специальность) – 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

П.Н. Бычков
« ____ » _____ 2019 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А5Д	Тихонов Алексей Евгеньевич

Тема работы:

Моделирование процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций для ядерного топлива уран-ториевого цикла	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	21.02.2019 №1383/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2019 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работ	Исследовать влияние параметров воздушной плазмы ВЧФ-разряда на синтез оксидных композиций для ядерного топлива уран-ториевого цикла. Экспериментально получить образцы порошков и исследовать их физико-химические свойства.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1. Обзор и анализ способов получения оксидных композиций для дисперсионного уран-ториевого топлива.2. Определение составов ВОНР, включающих уран, торий и матрицу из оксида магния.3. Термодинамический расчет процесса синтеза в плазме оксидных композиций для уран-ториевого топлива, определение режимов синтеза композиций требуемого состава.4. Подготовка плазменного стенда и получение опытных партий порошковых образцов.5. Исследование размера, дисперсности, элементного состава порошков.6. Выводы по работе. Заключение.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	В.Ю. Конотопский
Социальная ответственность	Т.С. Гоголева

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	22.04.2019 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	А.Г. Каренгин	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5Д	Тихонов А.Е.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0А5Д	Тихонов Алексей Евгеньевич

Школа	ИЯТШ	Отделение	ОЯТЦ
Уровень образования	бакалавр	Направление	14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1.Стоимость расходных материалов 2.Тариф на электроэнергию 3.Должностные оклады исполнителей
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	1.Ставки НДС и социального налога

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1.Выполнить
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1.Структура работ в рамках научного исследования; 2.Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования; 3.Бюджет научно - технического исследования (нти).
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	1.Выполнить

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Конотопский В.Ю.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5Д	Тихонов А.Е.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А5Д	Тихонов Алексей Евгеньевич

Школа		Отделение школы (НОЦ)	
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды: микроклимат, шум, вибрация, освещение, электромагнитные поля и ионизирующее излучение от ПЭВМ; – опасных проявлений факторов: вероятность поражения электрическим током, пожарная и взрывоопасность.
2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме	<ul style="list-style-type: none"> – требования охраны труда при работе на ПЭВМ; – требования охраны труда при работе на ВЧФ-плазмотроне – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – радиационная безопасность; – химическая безопасность;

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	<ul style="list-style-type: none"> – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (причины, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5Д	Тихонов А.Е.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 77 страниц, 20 рисунков, 14 таблиц, 21 источников, 21 формула.

Ключевые слова: высокочастотный факельный разряд, плазма, ВЧФ-плазмотрон, уран-ториевое топливо, дисперсионное ядерное топливо.

Объектом исследования является процесс плазмохимического синтеза оксидных композиций для ядерного топлива уран ториевого цикла.

Цель работы – моделирование и исследование процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций для ядерного уран-ториевого топлива.

В процессе исследований проводились: расчет показателей горения различных по составу ВОНР на основе СНР; термодинамические расчеты процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций урана и тория из ВОНР в воздушной плазме; измерение теплофизических и газодинамических параметров воздушно-плазменного потока при работе плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона.

В работе были определены составы смешанных водно-органических нитратных растворов, включающие уран, торий и матричный материал(магний), а также режимы их переработки, обеспечивающие прямой синтез в воздушной плазме топливных композиций для уран-ториевого дисперсионного топлива.

Область применения: результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы для создания энергоэффективной технологии плазмохимического синтеза гомогенных оксидных композиций для ториевого ядерного топлива.

Определения

Плазма – частично или полностью ионизированный газ, образованный из нейтральных атомов (или молекул) и заряженных частиц (ионов и электронов).

ВЧФ-плазмотрон – устройство для генерирования потоков воздушной неравновесной плазмы.

Плазмохимический синтез – химический метод получения высокодисперсных порошков нитридов, карбидов, боридов и оксидов, заключающийся в протекании реакции в низкотемпературной плазме вдали от равновесия при высокой скорости образования.

Температура вспышки – наименьшая температура летучего конденсированного вещества, при которой пары над поверхностью вещества способны вспыхивать в воздухе под воздействием источника зажигания, однако, устойчивое горение после удаления источника зажигания не возникает.

Температура воспламенения – наименьшая температура вещества, при которой пары над поверхностью горючего вещества выделяются с такой скоростью, что при воздействии на них источника зажигания наблюдается воспламенение.

Температура самовоспламенения – наименьшая температура горючего вещества, при нагреве до которой происходит резкое увеличение скорости реакций, приводящее к возникновению пламенного горения или взрыва.

Адиабатическая температура горения – это температура полного сгорания смесей любого состава при отсутствии тепловых потерь в окружающую среду.

Низшая теплота сгорания – количество выделившейся теплоты при полном сгорании массовой (для твердых и жидких веществ) или объёмной (для газообразных) единицы вещества.

Обозначения и сокращения

ВЧФ–разряд – высокочастотный факельный разряд.

ВЧФ–плазмотрон – высокочастотный факельный плазмотрон.

ВЧГ – высокочастотный генератор.

ПЭМ – просвечивающая электронная микроскопия.

ВОНР – водно-органический нитратный раствор

УТКА – уранилтрикарбоната аммония

АУК – Получение керамического диоксида урана через промежуточную стадию осаждения трикарбонатуранилата

АДУ – Получение керамического диоксида урана через промежуточную стадию осаждения полиураната аммония

Оглавление

Реферат	7
Определения	8
Обозначения и сокращения	9
Введение	12
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	15
1.1 Дисперсионное ядерное топливо	15
1.1.1 Типы композиций дисперсионного ядерного топлива	16
1.1.2 Материалы матрицы дисперсионного ядерного топлива	17
1.2 Методы получения дисперсных порошков для ядерного топлива	19
1.2.1 Золь-гель процесс для получения $\text{UO}_2\text{--ThO}_2$	19
1.2.2 Термическое разложение полиуранатов аммония	21
1.2.3 Восстановление оксидов урана	21
1.2.4 Термолиз уранилтрикарбоната аммония	22
1.2.5 Термическое разложение оксалатов урана	22
1.2.6 Электролитическое получение диоксида урана из расплавленных солей	23
1.2.7 Получение диоксида урана из гексафторида	23
2 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ	31
2.1 Расчет показателей горючести и состава водно-органических нитратных растворов	31
2.2 Термодинамический расчет процесса плазмохимического синтеза сложных оксидных композиций из растворов ВОНР	32
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	36
3.1 Описание плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона	36
3.2 Определение расходов воздушного теплоносителя через ВЧФ-плазмотрон и газоход	37
3.3 Определение расходов воздушного теплоносителя через реактор	39
3.4 Плазмохимическая переработка модельных ВОНР	40
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	44

4.1 Организация и планирование работ	44
4.2 Продолжительность этапов работ	45
4.3 Расчет накопления готовности проекта	50
4.4 Расчет сметы на выполнение проекта	51
4.4.1 Расчет затрат на материалы	51
4.4.2 Расчет заработной платы	53
4.4.3 Расчет затрат на социальный налог	54
4.4.4 Расчет затрат на электроэнергию	54
4.4.5 Расчет амортизационных расходов	56
4.4.6 Расчет прочих расходов	57
4.4.7 Расчет прибыли	58
4.4.8 Расчет НДС	58
4.4.9 Цена разработки	58
4.5 Оценка экономической эффективности проекта	58
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	59
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	60
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ВЧФ-плазмотроне и ЭВМ	62
5.2.1 Организационные мероприятия	62
5.2.2 Организация рабочего места оператора ПЭВМ	62
5.2.3 Условия безопасности работы	65
5.3 Химическая безопасность	67
5.4 Электробезопасность	68
5.5 Пожарная и взрывная безопасность	72
ВЫВОДЫ	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	75
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	76

Введение

Значительную часть атомной энергетики в двадцать первом веке еще будут составлять АЭС, использующие керамическое ядерное топливо (ЯТ) из диоксида урана, обогащенного по изотопу уран-235, у которого наряду с несомненными достоинствами есть и существенные недостатки: низкая теплопроводность, которая ограничивает удельную мощность реактора по температуре плавления, хрупкость и склонность к растрескиванию, короткий цикл использования (до 3-5 лет), невозможность создания энергетических установок сверхмалой (до 10 МВт) и малой (10-100 МВт) мощности, большие расходы на утилизацию отработавшего ЯТ, ограниченный ресурс изотопа уран-235.

При использовании изотопов уран-238, торий-232 и плутоний-239 отпадает необходимость в дорогостоящем изотопном обогащении а цикл использования такого ЯТ может быть доведен до 10-15 лет. При этом прогнозных запасов тория в земной коре в 3-5 раз больше, чем урана, а использование керамического ЯТ из оксидных композиций на основе тория даст возможность создания сверхмалых и малых энергетических установок для использования в удаленных и труднодоступных регионах, на рудниках и карьерах. Однако у керамического ЯТ остается существенный недостаток – низкая теплопроводность.

Одним из перспективных направлений дальнейшего развития атомной энергетики является использование дисперсионного ЯТ, в котором включения из делящихся материалов (уран, торий, плутоний) в виде гранулированных оксидных композиций (микросфер) размещают в матрице, имеющей высокий коэффициент теплопроводности. Однако применение матрицы из порошков металлов (алюминия, молибдена, вольфрама, нержавеющей стали и др.) увеличивает коэффициент теплопроводности, но приводит к ухудшению нейтронного баланса из-за высокого резонансного поглощения нейтронов. К тому же применение внешнего гелеобразования (золь-гель процесса) для

получения микросфер из смесевых водных нитратных растворов сопряжено со следующими недостатками: многостадийность; продолжительность; низкая производительность; необходимость использования химических реагентов; дополнительное водородное восстановление; высокая себестоимость. Кроме того, отдельное получение и механическое смешение микросфер и матрицы не обеспечивают однородное распределение фаз в таком ЯТ.

К несомненным преимуществам применения плазмы для плазмохимического синтеза оксидных композиций из диспергированных смесевых водных нитратных растворов по сравнению с золь-гель процессом и технологией, основанной на отдельном получении и механическом смешении оксидов металлов, следует отнести: одностадийность; высокую скорость; возможность активно влиять на размер и морфологию частиц; компактность технологического оборудования. Однако плазменная обработка только смесевых водных нитратных растворов требует значительных энергозатрат (до 4 МВт·ч/т) и не позволяет получать в одну стадию оксидные композиции требуемого стехиометрического состава без дополнительного водородного восстановления.

Впервые предлагается прямой плазмохимический синтез в воздушно-плазменном потоке сложных оксидных композиций (включающих оксиды делящихся материалов и матрицу из тугоплавких оксидов металлов, имеющих высокий коэффициент теплопроводности и низкое резонансное поглощение нейтронов) из диспергированных горючих водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент (спирты, кетоны и др.) и имеющих низшую теплотворную способность не менее 8,4 МДж/кг и адиабатическую температуру горения не менее 1200 °С. Плазменная обработка таких растворов ВОНР приводит к наибольшему снижению (до 0,1 МВтч/т) удельного расхода энергии на их обработку, значительно улучшая производительность плазменного оборудования, а также обеспечивает условия в плазмохимическом реакторе установки для прямого синтеза в воздушной плазме наноразмерных сложных оксидных композиций с равномерным

фазовым распределением, высокой теплопроводностью, а также стехиометрией. Впервые предлагается применить после плазмохимического реактора охлаждение (закалку) в центробежно-барботажных аппаратах продуктов плазмохимического синтеза для управления физико-химическими свойствами получаемых порошков сложных оксидных композиций (размер и морфология частиц, удельная поверхность, гранулометрический и фазовый состав).

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Дисперсионное ядерное топливо

В качестве ядерного топлива в активных зонах (АЗ) некоторых видов реакторов используется топливо дисперсионного типа, которое представляет собой композицию ядерного топлива, в котором делящаяся фаза (^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu) находится в виде частиц (металл, соединение), равномерно распределенных в матрице из неделящегося материала (металл, сплав, керамика, графит, и т.д.), а также из ^{238}U , ^{232}Th , их сплавов и соединений. Основным преимуществом ядерного топлива дисперсионного типа является его повышенная радиационная стойкость при длительной эксплуатации твэлов по сравнению с твэлами, содержащими сердечники из однородного ядерного топлива. Высокая радиационная стойкость дисперсионного топлива обеспечивается его структурой, в которой продукты деления локализуются в топливных частицах или около них. Каждая частица ядерного топлива, диспергированная в топливной композиции, представляет собой микротвэл, в котором роль оболочки, сдерживающей объемные изменения сердечника, выполняет матрица. Разобщенность продуктов деления и непрерывность матрицы предотвращают повреждение сердечника твэла [1].

Характерной особенностью дисперсионного ядерного топлива является его повышенная радиационная стойкость при длительной эксплуатации в реакторе. В связи с этим дисперсионное топливо нашло широкое применение в исследовательских и материаловедческих реакторах, а также в ядерных установках специального назначения, для которых характерны повышенные плотности делений, мощности энерговыделения и температуры. В последнее время возник еще один стимул для разработки и применения топлива дисперсионного типа. Это связано с необходимостью снижения накопленных запасов оружейного и энергетического плутония.

1.1.1 Типы композиций дисперсионного ядерного топлива

При разработке топлива с инертной матрицей (ТИМ) исследуются композиции с гомогенной и гетерогенной структурой. Каждая из этих структур имеет свои достоинства и недостатки. В гомогенной структуре ТИМ мелкодисперсные частицы делящегося вещества равномерно распределены в материале матрицы (рис. 1). Из-за малых размеров частиц делящегося материала осколки деления в большей мере покидают делящийся материал и повреждают материал матрицы (рис. 2) [2].

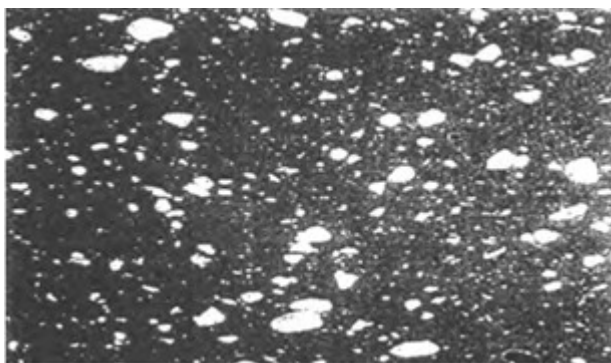


Рисунок 1 – Микроструктура композиции $\text{UO}_2\text{-MgAl}_2\text{O}_4$

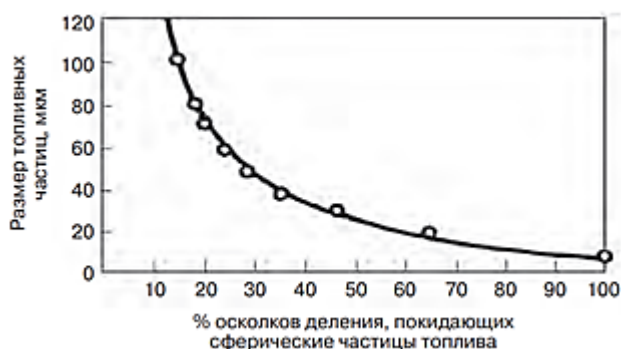


Рисунок 2 – Влияние размера частиц топливного материала на количество осколков деления, покидающих частиц

К материалам с гомогенной структурой относятся и твердые растворы оксидов, карбидов, нитридов или металлов, например $(\text{Th}, \text{Pu})\text{O}_2$, $(\text{Th}, \text{Pu})\text{C}$ и т.д.. Ядерное топливо с инертной матрицей с гетерогенной структурой содержит делящийся материал в виде микросфер (чаще всего диаметром 100–

200 мкм) или окатанных форм, располагающихся в матрице из инертного материала [3].

Таким образом, ядерное топливо в виде дисперсионных композиций является основным видом топлива для исследовательских реакторов и судовых ядерно-энергетических установок. Этот вид топлива может быть использован в энергетических реакторах и ядерных установках космического назначения. Использование топлива в виде ТИМ на основе инертных матриц может быть успешно применено для увеличения глубины выгорания и «сжигания» плутония.

1.1.2 Материалы матрицы дисперсионного ядерного топлива

Одним из компонентов дисперсионной топливной композиции является неделящийся материал (матрица), который обеспечивает высокую радиационную стойкость такого типа ядерного топлива. Несмотря на то, что ядерное топливо дисперсионного типа применяется в реакторах различного назначения (исследовательских, энергетических и т.д.), условия работы которых значительно различаются, имеется ряд требований, которые необходимо учитывать при выборе материала матрицы. При выборе материала матрицы необходимо учитывать ядерные, физико-механические свойства и экономические факторы. В первую очередь материал матрицы должен иметь наименьшее значение поперечного сечения поглощения тепловых нейтронов. Кроме того, он должен удовлетворять следующим требованиям:

- иметь температуру плавления выше рабочей температуры топливного сердечника твэлов,
- обладать высокими механическими свойствами (прочностью, упругостью, твердостью и т.д.), причем крайне важны не только их кратковременные значения, но и длительная прочность, скорость ползучести и т.д., чтобы сдерживать давление выходящих из топлива газообразных продуктов деления,

- теплофизические свойства (теплопроводность, коэффициент термического расширения и т.д.) должны обеспечивать хорошую передачу тепловой энергии от топливной частицы через оболочку к теплоносителю,
- крайне важно, чтобы материал матрицы был совместим с топливной композицией, материалом оболочки и теплоносителем,
- материал матрицы не должен иметь фазовых превращений и быть устойчивым в условиях радиационного облучения [4].

Кроме свойств, обеспечивающих работоспособность твэла, использующего ядерное топливо дисперсионного типа, необходимо при выборе материала матрицы учитывать его доступность и стоимость. В качестве материала матрицы при производстве твэлов дисперсионного типа исследовательских и корабельных реакторов широкое применение нашли алюминий и цирконий, а также их сплавы. Матрица из нержавеющей стали используется в ядерном топливе дисперсионного типа в энергетических реакторных установках. Графит служит матричным материалом при изготовлении твэлов реакторов HTGR. При разработке топлива типа ТИМ, предназначенного для «сжигания» плутония, чаще всего в качестве материалов матрицы, используются керамические материалы в основном оксидного типа.

При выборе материала матрицы дисперсионного ядерного топлива основное требование заключается в том, чтобы материал матрицы имел минимальное значение поперечного сечения поглощения тепловых нейтронов. В табл. 1 приведены данные о поперечном сечении поглощения тепловых нейтронов некоторых элементов.

Таблица 1 – Поперечные сечения поглощения тепловых нейтронов некоторых элементов

Элемент	Поперечное сечение поглощения тепловых нейтронов, 10^{-24} см ²	Элемент	Поперечное сечение поглощения тепловых нейтронов, 10^{-24} см ²
Бериллий	$10 \cdot 10^{-2}$	Титан	5,8
Углерод	$3,7 \cdot 10^{-3}$	Ванадий	5
Азот	1,9	Марганец	13,2
Кислород	$2 \cdot 10^{-4}$	Железо	2,6
Магний	$7 \cdot 10^{-2}$	Никель	4,6
Алюминий	0,24	Медь	3,8
Кремний	0,16	Молибден	2,7
Цирконий	0,18	Вольфрам	19,2
Ниобий	1,16	Тантал	21,0
Хром	3,1		

Поперечное сечение поглощения тепловых нейтронов сплавов определяется как сумма произведений ядерной концентрации на сечение поглощения для каждого компонента сплава, деленная на общее число ядер в грамме сплава. Определенное таким образом поперечное сечение поглощения тепловых нейтронов нержавеющей стали ЭМ-847 (ОХ16Н15М3Б) составляет $3,05 \cdot 10^{-24}$ см² [5].

1.2 Методы получения дисперсных порошков для ядерного топлива

1.2.1 Золь-гель процесс для получения $\text{UO}_2\text{--ThO}_2$

В системе $\text{UO}_2\text{--ThO}_2$ имеется непрерывный ряд твёрдых растворов. Смешанные оксиды $\text{UO}_2\text{--ThO}_2$ можно получить благодаря технологии золь-гель процесса. Один из способов получения методом золь-гель процесса представлен на рисунке (рис. 3).

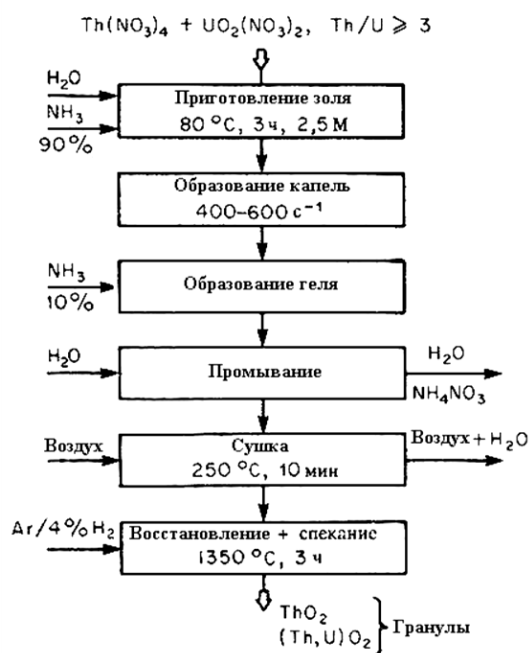


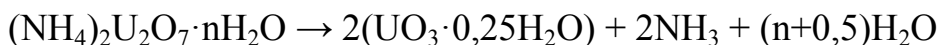
Рисунок 3 – Технологическая схема гелелирования оксидов урана и тория

Исходными веществами в данном процессе являются растворы нитрата тория $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ и нитрата уранила $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ с соотношением $\text{Th} : \text{U} \geq 3$ [5].

На первой стадии готовится золь. К нитратному раствору, который имеет температуру $80\text{ }^\circ\text{C}$ добавляется аммиак (90 % от стехиометрии). Операция продолжается в течение трех часов. Полученный коллоидный раствор каплями замешивается к раствору аммиака, который содержит оставшиеся 10 % стехиометрически требуемого количества. Капли образуются со скоростью $450\text{--}600\text{ с}^{-1}$. Гель, который образуется в данном процессе, промывают при помощи воды, а затем в воздушной среде сушат при температуре равной $250\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 10-15 мин. Конечный продукт восстанавливают и спекают при температуре равной $1350\text{ }^\circ\text{C}$ примерно около 3 часов. На конечной этапе получают порошковые гранулы $\text{ThO}_2 + (\text{Th,U})\text{O}_2$ [6].

1.2.2 Термическое разложение полиуранатов аммония

Процесс разложения происходит при температуре 250–350 ° С, что приводит к образованию гидратированного триоксида урана:



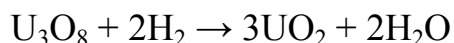
На второй стадии триоксид урана восстанавливается с помощью аммиака или водорода, который образуется при термоллизе аммиака (более 350 ° С). Общую реакцию отражает следующее уравнение:



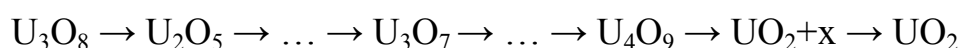
Чтобы получить наиболее реакционноспособный диоксид урана, рекомендуется проводить процесс в нижнем температурном диапазоне и достигать полного восстановления с помощью увеличения времени процесса [7].

1.2.3 Восстановление оксидов урана

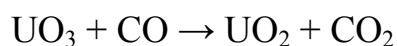
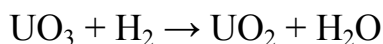
В процессе восстановления оксидов урана восстановителями выступают газы. В пример можно привести водород:



Данная реакция является многостадийной:



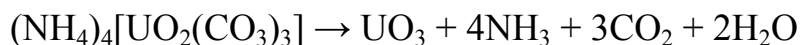
Максимальной температурой данного процесса можно принять 650 °С, т.к. выше данной температуры скорость протекания реакции не возрастает. Восстановителем может выступить разбавленный водород в виде $\text{H}_2 : \text{N}_2 = 1 : 4$. Процесс восстановления можно провести по данным реакциям(при 650°С):



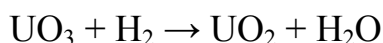
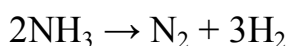
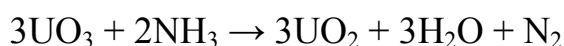
Реакция восстановления триоксида урана обязательно протекает через промежуточную стадию образования U_3O_8 и лимитируется этой стадией.

1.2.4 Термолиз уранилтрикарбоната аммония

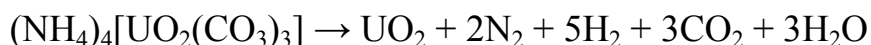
Процесс термолиза проводится в отсутствии воздуха, в этом случае уранилтрикарбонат аммония разлагается по реакции:



На второй стадии аммиак и продукты его разложения используются для восстановления триоксида урана. Процесс проводится при температуре 350-450 °С и проходит следующую серию реакций:



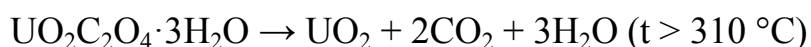
В случае, когда температура растет быстро при нагреве уранилтрикарбоната аммония выше 450 °С протекает следующая реакция:



В полученном UO_2 содержание U (IV) составляет около 96%, а U (VI) составляет не менее 4%. Количество продуктов прямых и ступенчатых реакций зависит от скорости нагрева и способа дегазации. Важно знать, что объемные кристаллы и влажные кристаллы уранилтрикарбоната аммония не могут быть немедленно нагреты до необходимой конечной температуры (650-750 ° С). Способ осуществляют в трубчатой закрытой печи или вращающейся горизонтальной трубчатой печи, имеющей подвижный слой[8].

1.2.5 Термическое разложение оксалатов урана

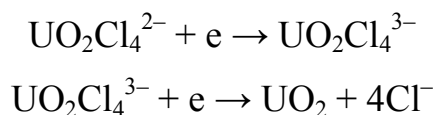
Термическое разложение оксалата урана используется для получения наиболее дисперсного порошка диоксида урана. Разборка производится без доступа воздуха. В этом случае оксалат урана (IV) и уранил оксалат образуются в UO_2 :



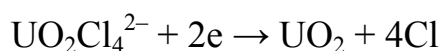
1.2.6 Электролитическое получение диоксида урана из расплавленных солей.

В этом методе рабочая среда представляет собой хлоридный расплав, иногда можно использовать оксидную систему. В этом методе нашла свое применение смесь хлорида цезия и хлорида натрия.

В большинстве случаев концентрация урана в расплаве состава NaCl–CsCl–UO₂Cl₂ равна 7–20 мол. %. Из фазовой диаграммы выбранной системы можно сделать вывод, что для технического использования должна быть выбрана смесь следующего состава: NaCl:CsCl:UO₂Cl₂ = 30:60:10 мол. %. Процесс, который происходит на катоде во время электролиза, можно записать как:



Или в сумме:



В ходе процесса получается хорошо кристаллизованный диоксид урана с плотностью 10,6–10,9 г/см³. Электрохимический эквивалент процесса достаточно высок и составляет около 5 г UO₂/(А·час). Данный способ перспективен для получения гранулята UO₂ для снаряжения виброуплотнённых ТВЭЛов [9].

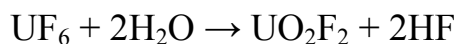
1.2.7 Получение диоксида урана из гексафторида

Этот метод особенно важен, учитывая, что UF₆ в настоящее время является запатентованным соединением в процессе обогащения урана на изотопах U-235. Используя этот метод, получают обогащенный диоксид урана, который полезен для производства ядерного топлива. Превращение UF₆ в UO₂ можно проводить термическим гидролизом или гидролизом в водном растворе.

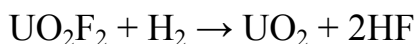
Пирогидролизом получают до 25 % ядерного топлива в мире.

При этом протекает следующая цепь реакций (t = 200–700 °C):

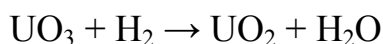
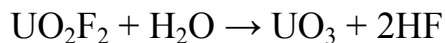
а) реакция UF_6 с перегретым паром:



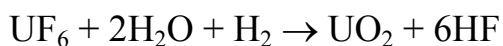
б) собственно пирогидролит:



Последняя стадия осуществляется смесью водяного пара и водорода:



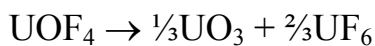
в) Дополнительный термический гидролиз проводят в отдельном реакторе с псевдооживленным слоем для дополнительного снижения содержания фтора с последующим кондиционированием и стабилизацией порошка с использованием смеси воздух / азот. Следовательно, вся реакция представлена следующей формулой:



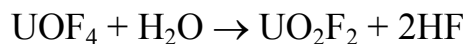
Необходимо только сначала провести гидролиз при относительно низкой температуре и дополнительно уменьшить UO_2F_2 . Инструментарий способов получения диоксида урана этим методом представляет собой непрерывный каскад блоков с псевдооживленным слоем или трубчатых печей ВГТП. Во время термического разложения уранилфторида образование соединения UOF_4 наблюдалось в качестве промежуточного соединения:



Данное соединение термически неустойчиво и около 200°C разлагается по реакции:



При взаимодействии с парами воды UOF_4 переходит в уранил фторид:



Технический процесс термогидролиза гексафторида урана до диоксида может быть осуществлен различными способами в одном аппарате и в нескольких, расположенных последовательно. При производстве диоксида урана из гексафторида в одной вращающейся печи все реакции протекают в

одном аппарате. Основной поток обработки показан на рисунке 4. Преимущество конструкции этого способа заключается в его простоте, в результате чего получается порошок диоксида урана, который можно использовать для получения топливных таблеток. Из таких порошков получают таблетки с плотностью выше 97,2 % от теории ($10,89 \text{ г/см}^3$), т.е. более $10,45 \text{ г/см}^3$. Порообразователи или U_3O_8 добавляют к двуокиси урана, если требуются таблетки более низкой плотности [10].

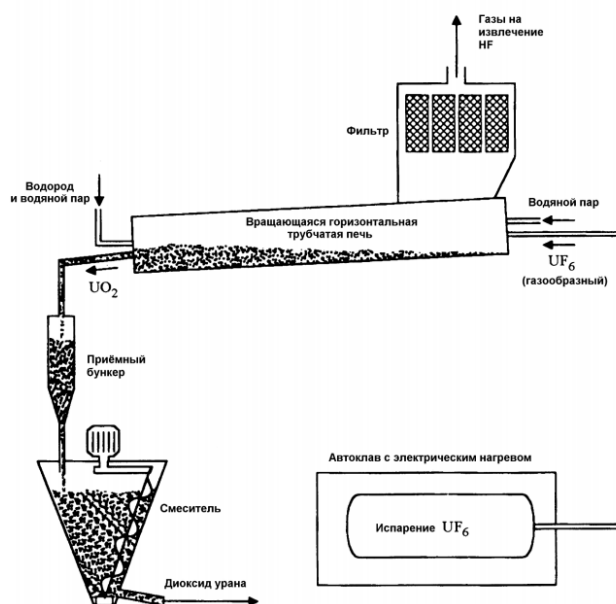


Рисунок 4 – Схема производства диоксида урана из гексафторида в одной печи

Процесс термогидролиза можно проводить по так называемой гибридной схеме (рис. 5). В реакторе с кипящим слоем происходит частичный пиролиз, и продукт восстанавливается до UO_2 при 600°C . Порошок затем направляют во вращающуюся печь (700°C), где термический гидролиз и восстановление проходят до завершения [11].

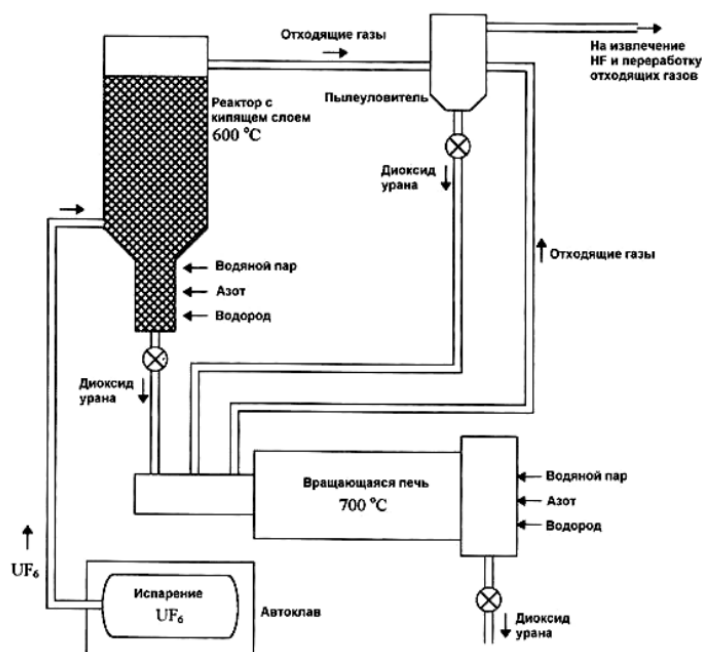
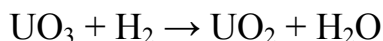
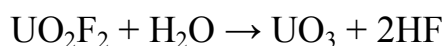
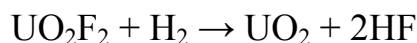
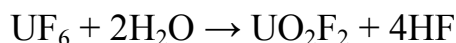
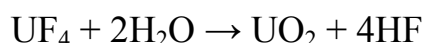
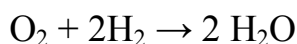
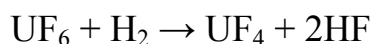


Рисунок 5 – Схема производства UO_2 из UF_6 с использованием аппарата кипящего слоя

Вариантом термогидролиза является превращение UF_6 в кислородно-водородное пламя. Суть этой технологии заключается в использовании пламенного реактора, в котором водород выступает в качестве топлива, а кислород - в качестве окислителя. Пламя снабжается газообразным гексафторидом урана во время следующей реакции:

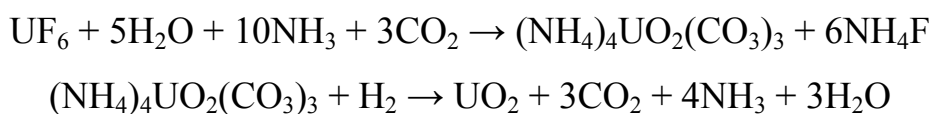


На выходе из пламенного реактора (его рабочая температура составляет около 1300 °C) образуется смесь веществ: UO_2 , UO_3 , $U(OH)_4$, H_2O , UO_2F_2 . Содержание фтора в этом продукте составляет около 4-8 %. Содержание фтора

после термической обработки продукта в атмосфере водорода при 1000 °С составляет не более $3 \cdot 10^{-3} \%$.

Превращение гексафторида урана в диоксид можно проводить в водной среде. В то же время в качестве промежуточных соединений могут использоваться различные урановые соединения, например уранилтрикарбонат или диуранат аммония [12].

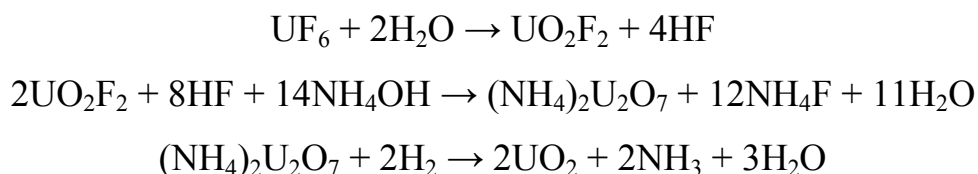
Производство UO_2 из UF_6 через уранилтрикарбонат аммония называется процессом АУК. Основная реакция, которая происходит в этом процессе, выражается следующим уравнением:



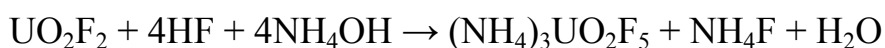
Образование смешанных фторидно-карбонатных комплексов на твердой фазе не происходит. При использовании большого избытка осадителя $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ уран почти полностью осаждается в виде $(\text{NH}_4)_4\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3$.

На стадии гидролиза в водосодержащий реактор подают газообразные UF_6 , NH_3 и CO_2 . При гидролизе UF_6 в присутствии карбоната аммония важно поддерживать pH между 7,8 и 8,6. При данном pH возможно минимизировать вспенивание суспензии при повышении температуры реакционной смеси. Концентрация урана в пульпе поддерживается на уровне 200-250 г/л, а концентрация растворенного урана не превышает 200 мг/л. Температура стадии гидролиза составляет 40-65 °С. УТКА отфильтровывают (остаточная влажность около 6 %). Осадок промывают раствором карбоната аммония, чтобы уменьшить концентрацию захваченных ионов F-. На заключительном этапе осадок промывают метиловым спиртом. В то же время влажность снижается до 0,2 %, а содержание F- снижается до 1/1000 %. Остаточная концентрация метанола в осадке составляет 2-3 %. Кристаллы УТКА направляются на операции обжига и восстановления, которые проводят в атмосфере азотно-водородной смеси с добавлением пара (для дефторирования продукта). Полученный порошок диоксида урана может быть немедленно отправлен на стадию прессования топливных таблеток без какой-либо дополнительной

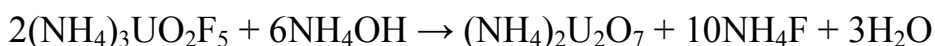
обработки. Метод гидролиза UF_6 с промежуточным образованием дибората аммония называется процессом АДУ. Эта технология была разработана в середине 1950-х годов и первоначально была внедрена на заводе Маллинкрод. Долгое время это считалось эталоном для преобразования UF_6 в UO_2 . Основная реакция, которая происходит, выражается следующим уравнением:



На первой стадии процесса проводят гидролиз воды гексафторида урана с получением так называемого гидролизата. Медленное добавление аммиака к гидролизату приводит к образованию нерастворимого пентафторанилата аммония $(\text{NH}_4)_3\text{UO}_2\text{F}_5$:



При введении аммиака в гидролизат ($\text{UO}_2\text{F}_2 + \text{HF}$) взаимодействие реагентов происходит посредством твердофазного превращения пентафторанилата аммония в диуранат:



Скорость осаждения урана из раствора выше, чем скорость конверсии. Благодаря быстрому отводу реагента, когда скорость растворения осадка меньше скорости его образования, частицы осадка пентафтороланилата аммония покрываются «слоем» плохо растворимого полиланата, что увеличивает содержание фтора принести. В твердой фазе. Когда гидролизат добавляют к раствору аммиака, практически не образуется промежуточный пентафторанилат аммония из-за присутствия избытка аммиака в реакционной смеси.

Аммиак почти количественно осаждает уран из раствора чистой азотной кислоты. В присутствии ионов фтора осаждение урана затруднено процессом комплексообразования. Поэтому для осаждения урана из гидролизата необходимо использовать большой избыток аммиака (рис. 6).

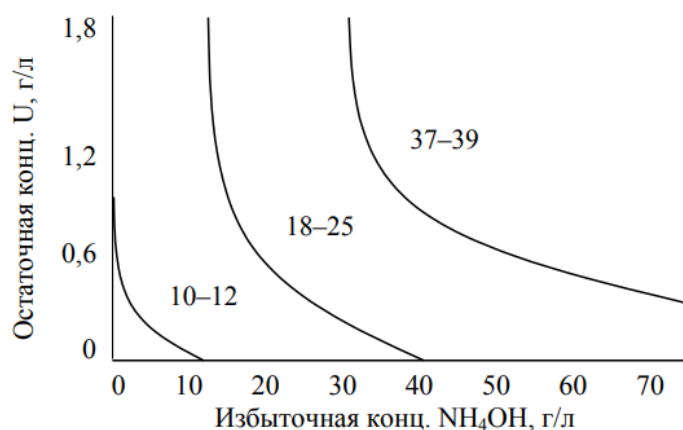


Рисунок 6 – Влияние концентрации аммиака на остаточную концентрацию урана при осаждении из раствора $\text{UO}_2\text{F}_2\text{--NH}_4\text{F--NH}_4\text{OH}$.

Концентрация F^- -ионов (г/л) указана для каждой кривой.

Промывка осадка полностью не удаляет F^- -ионы. После промывки содержание фтора в отложениях быстро уменьшается, достигая определенных пределов (1,5-2,5 %) и больше не изменяется (рис. 7). Причиной является образование комплексного соединения, и его приблизительный состав может быть выражен формулой $(0,55\text{--}0,72)\text{NH}_4\cdot\text{UO}_3\cdot(0,2\text{--}0,43)\text{F}\cdot x\text{OH}\cdot y\text{H}_2\text{O}$. На растворимость полиизоцианата также влияет pH. Следовательно, при $\text{pH} = 3,5$ концентрация урана в растворе составляет около 16 г/л, а при $\text{pH} = 9\text{--}10\text{--}14$ г/л.

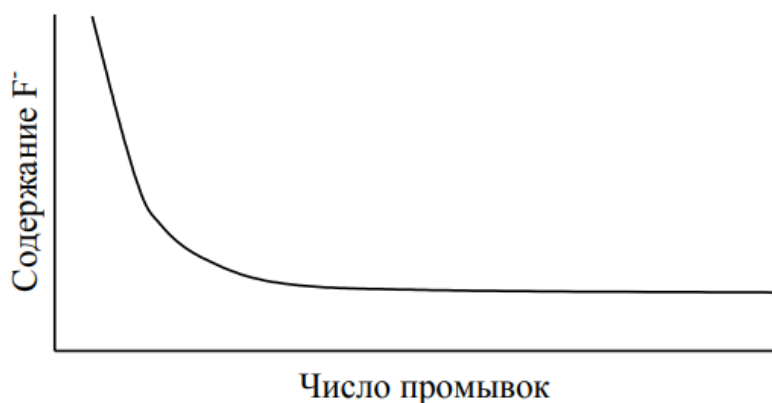


Рисунок 7 – Влияние числа промывок осадка диураната аммония на содержание F^- -ионов

Помимо полного осаждения, pH раствора также влияет на величину удельной поверхности осадка полиланата аммония. При $\text{pH} > 7$ наблюдается

увеличение удельной площади поверхности (рис. 8), что приводит к уменьшению размера частиц осадка. Размер частиц осадка влияет на спекание порошка UO_2 , полученного из полиурната. Чем меньше размер частиц полиурната аммония, тем лучше спекается диоксид урана, но ухудшаются технические свойства осадка самого диурната, в частности его фильтруемость.

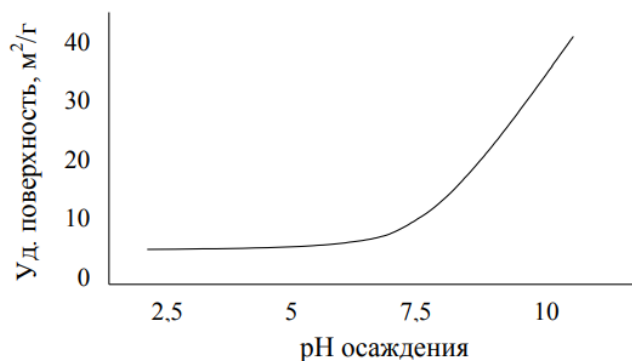


Рисунок 8 – Влияние осаждения pH на удельную поверхность полиурната аммония

По этой причине осаждение полиурната аммония может быть одностадийным, двухстадийным и многостадийным. На практике предпочтительным является двухэтапный метод: первый этап выполняется при pH около 3,5, а второй этап выполняется с постепенным увеличением pH от 7,2 до 8,0. Осаждение проводят при 80 ° С и сушку отфильтрованного и промытого осадка проводят при 120 ° С. Как и в случае метода АУК, азотно-водородная атмосфера используется на стадии прокаливания дигидрогената аммония. Однако порошок диоксида урана, полученный этим способом, не подходит для непосредственного производства топливных таблеток. Перед операцией прессования он измельчается и классифицируется [13].

2 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Расчет показателей горючести и состава водно-органических нитратных растворов

Низшая теплотворная способность водно-органических нитратных растворов определялась по уравнению.

$$Q_H^p = \frac{(100 - W - A) \cdot Q_H^c}{100} - \frac{2,5 \cdot W}{100}, \quad (1)$$

где Q_H^c – низшая теплотворная способность горючего компонента в составе водно-органического нитратного раствора, МДж/кг; W и A – содержание воды и негорючих компонентов, %; 2,5 – значение скрытой теплоты испарения воды при 0 °С, МДж/кг.

Показано, что водно-органические нитратные растворы (ВОНР), имеющие $Q_H^p \geq 8.4$ МДж/кг, могут обеспечить существенное снижение энергозатрат на плазмохимический синтез сложных оксидных композиций.

Для образования сложных оксидных композиций различного состава определены следующие оптимальные по составу растворы ВОНР, имеющие $Q_H^p \geq 8.4$ МДж/кг:

Таблица 2 – Расчет состава растворов ВОНР на основе ацетона

Состав оксидной композиции	Состав раствора ВОНР, % масс.				
	H ₂ O	C ₂ H ₆ O (ацетон)	UO ₂ (NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	Th(NO ₃) ₄ · 6H ₂ O	Mg(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O
UO ₂ /(ThO ₂ +UO ₂)=0,1	ВОНР-1				
«89,1 % ThO ₂ – 9,9 % UO ₂ – 1 % MgO»	28,4	29	3,512	37,866	1,221
	ВОНР-2				
«87,75 % ThO ₂ – 9,75 % UO ₂ – 2,5 % MgO»	28,4	29	3,363	36,267	2,969
	ВОНР-3				
«85,5 % ThO ₂ – 9,5 % UO ₂ – 5 % MgO»	28,4	29	3,133	33,788	5,667
	ВОНР-4				
«83,25 % ThO ₂ – 9,25 % UO ₂ – 7,5 % MgO»	28,4	29	2,923	31,517	8,159
	ВОНР-5				
«81%ThO ₂ –9%UO ₂ –10%MgO»	28,4	29	2,729	29,43	10,44

2.2 Термодинамический расчет процесса плазмохимического синтеза сложных оксидных композиций из растворов ВОНР

Термодинамическое моделирование процесса плазмохимического синтеза сложных оксидных композиций в воздушной плазме из растворов ВОНР проведено с использованием лицензионной программы термодинамического расчета состава фаз произвольных гетерогенных систем «TERRA». Расчеты проведены при атмосферном давлении (0,1 МПа), в широком диапазоне температур (300–5000 К) и изменении значений исходной массовой доли плазменного теплоносителя (воздуха) в интервале (0,1–0,9).

« $\text{UO}_2\text{--ThO}_2\text{--MgO}$ »

На рисунках 9-13 показано влияние температуры на равновесные составы в конденсированных фазах основных продуктов плазменной обработки растворов ВОНР-1, ВОНР-2, ВОНР-3, ВОНР-4 и ВОНР-5 на основе ацетона при массовой доле воздуха 72 % (а) и 74 % (б).

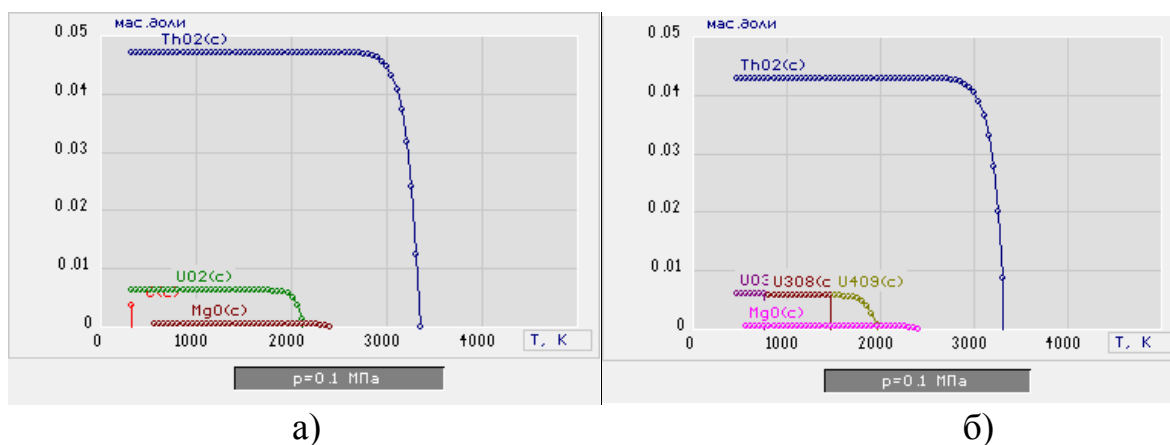
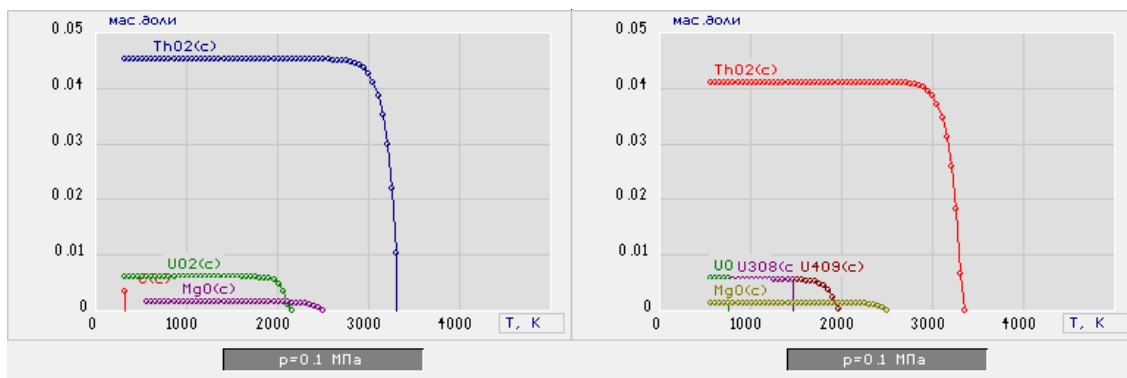


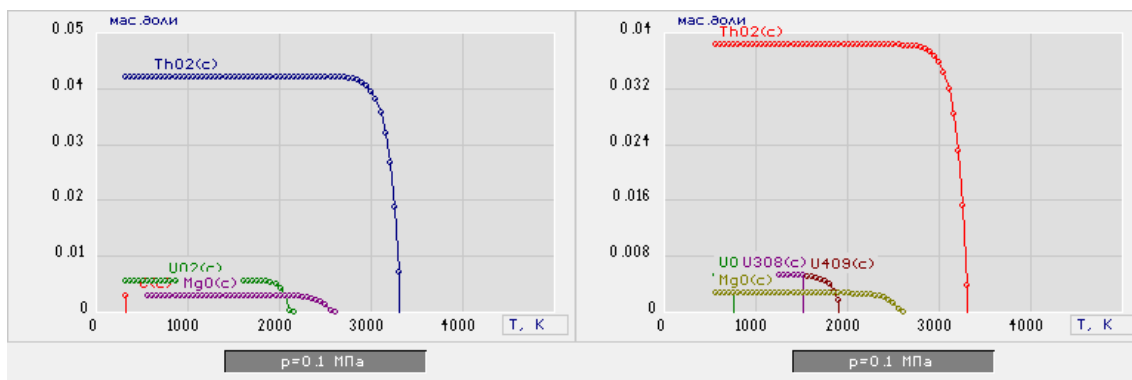
Рисунок 9 – Влияние температуры на равновесный состав в конденсированных фазах основных продуктов плазменной обработки раствора ВОНР-1 на основе ацетона при массовой доле воздуха 67 % (а) и 70 % (б)



a)

б)

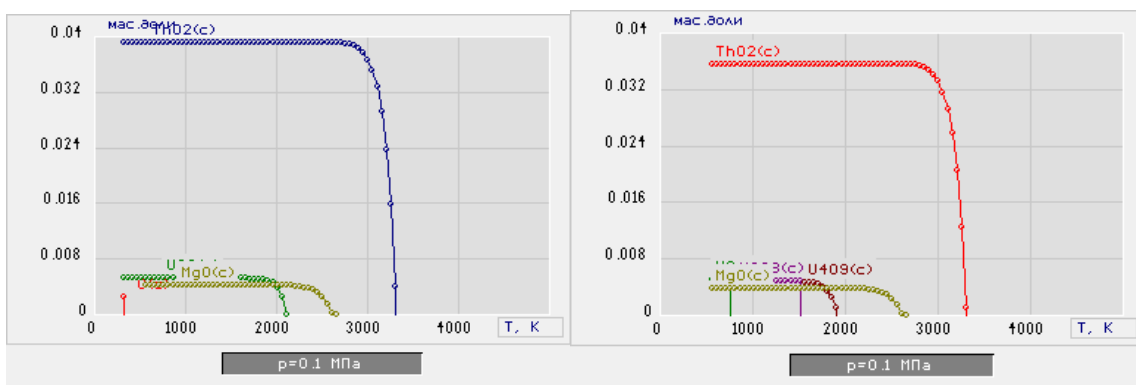
Рисунок 10 – Влияние температуры на равновесный состав в конденсированных фазах основных продуктов плазменной обработки раствора ВОНР-2 на основе этанола при массовой доле воздуха 67 % (а) и 70 % (б)



a)

б)

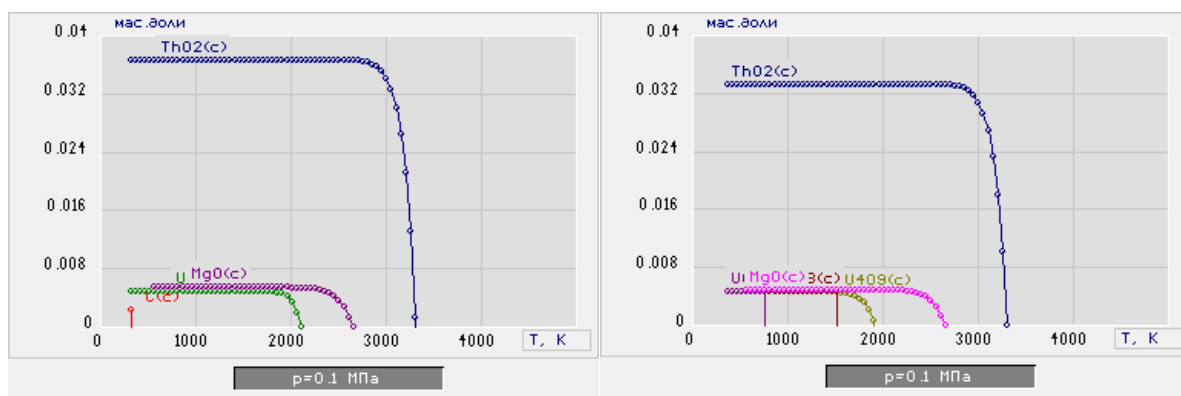
Рисунок 11 – Влияние температуры на равновесный состав в конденсированных фазах основных продуктов плазменной обработки раствора ВОНР-3 на основе этанола при массовой доле воздуха 67 % (а) и 70 % (б)



а)

б)

Рисунок 12 – Влияние температуры на равновесный состав в конденсированных фазах основных продуктов плазменной обработки раствора ВОНР-4 на основе этанола при массовой доле воздуха 67 % (а) и 70 % (б)



а)

б)

Рисунок 13 – Влияние температуры на равновесный состав в конденсированных фазах основных продуктов плазменной обработки раствора ВОНР-5 на основе этанола при массовой доле воздуха 67 % (а) и 70 % (б)

Анализ равновесных составов показывает, что плазменная обработка растворов ВОНР-1, ВОНР-2, ВОНР-3, ВОНР-4 и ВОНР-5 на основе ацетона при массовой доле воздуха 69 % и температурах до 2000 К (рисунки 13а-15а) приводит к плазмохимическому синтезу в воздушной плазме требуемых СОК: «89,1 % ThO_2 – 9,9 % UO_2 – 1 % MgO », «87,75 % ThO_2 – 9,75 % UO_2 – 2,5 % MgO », «83,25 % ThO_2 – 9,25 % UO_2 – 7,5 % MgO » и «81 % ThO_2 – 9 % UO_2 –

10 % MgO». Снижение доли воздуха ниже 69 % приводит к образованию и повышению в составе продуктов содержания углерода в конденсированной фазе C(c), а повышение доли воздуха с 69 % до 70 % приводит в интервале температур 1000–1600 К к образованию СОК «U₃O₈–MgO» вместо требуемой «UO₂–MgO».

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Описание плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона

Экспериментальные исследования с целью наработки опытных партий оксидных порошков из модельных СНР осуществлялись с использованием плазмохимической установки (рис. 14). Установка разработана для осуществления процессов плазменной обработки диспергированных водно-солевых растворов различного состава в плазме высокочастотного факельного разряда, где плазменным теплоносителем выступает воздух.

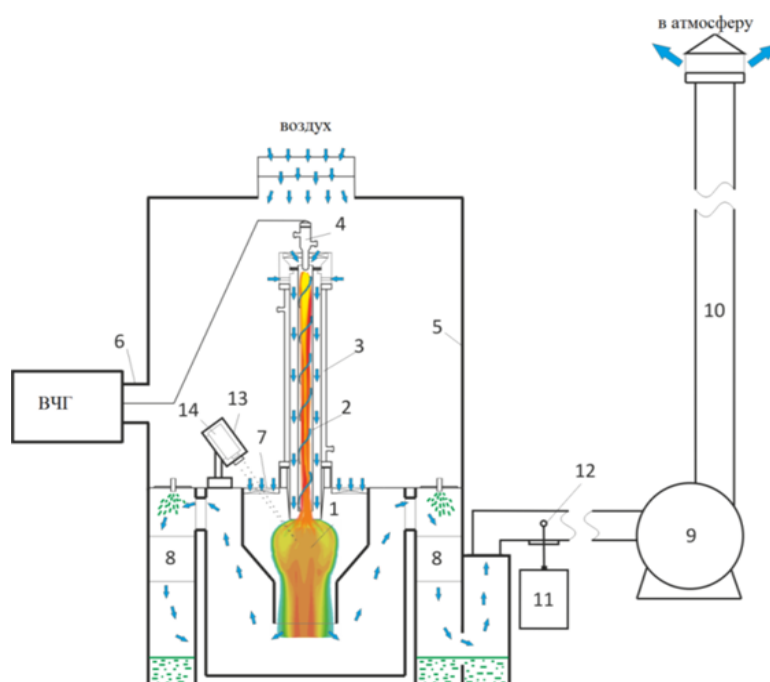


Рисунок 14 – Схема плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона:

1 – диспергатор, 2 – ВЧФ-разряд, 3 – ВЧФ-плазмотрон; 4 – медный электрод, 5 – корпус; 6 – коаксиальный вывод; 7 – импеллер реактора; 8 – узел «мокрой» очистки отходящих газов; 9 – вытяжной вентилятор (ВР 12-26, №4), 10 – воздухопровод, 11 – газоанализатор «Quintox» КМ 9106, 12 – пробоотборник; 13 – защитный кожух пирометра, 14 – пирометр IPE 140/45, ВЧГ – высокочастотный генератор ВЧГ8-60/13-01.

Высокочастотный ток подается от высокочастотного генератора через коаксиальный вывод 6 к электроду 4, выполненному из меди и охлаждаемому

водой. Электрод конструкционно располагается в ВЧФ-плазмотроне 3, который непосредственно генерирует плазменную струю (среднемассовая температура ≈ 4000 K). Плазменная струя горит внутри разрядной камеры плазмотрона, которая изготовлена из кварцевого стекла ($d = 50$ мм, $l = 860$ мм)

Мощный вентилятор 9 производит откачку воздуха через газоход из следующих узлов плазмохимической установки: ВЧФ-плазмотрон 3 и плазмохимический реактор.

Над плазмохимическим реактором располагается импеллер, который имеет пропускную площадь $S_{\text{ип}} = 25$ см². Конструкционно импеллер необходим для осуществления закрутки входного потока, который прокачивается через реактор. Над импеллером находится шибер 7, позволяющий контролировать расход прокачиваемого воздуха. Входная площадь реакторного шибера $S_{\text{шиб}}$ регулируется в интервале 0–1650 см².

Для контроля концентрации вредных газообразных веществ (например, CO, NO, NO₂) в отходящих газах используется газоанализатор 11, снабженный пробоотборником 12. Дополнительно при помощи газоанализатора и трубки Пито возможно определять такие параметры воздушного потока, как напор, скорость и расход. Для контроля температуры воздушно-плазменного потока в плазмохимическом реакторе используется бесконтактный пирометр 14.

3.2 Определение расходов воздушного теплоносителя через ВЧФ-плазмотрон и газоход

Величина расхода воздушного плазменного теплоносителя через кварцевую разрядную камеру плазмотрона, а также через газоход вычислялись при помощи трубки Пито.

Трубка Пито измеряет напор f входящего потока по следующему выражению:

$$f = \frac{(\rho V^2)}{2} = P_{\text{п}} - P_{\text{ст}} \quad (2)$$

где P_{Π} – полное давление, Па;

$P_{ст}$ – статическое давление, Па;

ρ – плотность воздуха при температуре T , кг/м³;

$f = \frac{(\rho V^2)}{2}$ – напор входящего потока.

Сделав необходимые математические преобразования, можно выразить скорость входящего потока V :

$$V = \left[\frac{2 \cdot (P_{\Pi} - P_{ст})}{\rho} \right]^{0,5} \quad (3)$$

Величина объёмного расхода воздуха через воздуховод определяется выражением:

$$Q = S \cdot V \quad (4)$$

где S – площадь поперечного сечения воздуховода.

Полученные данные были обработаны и построены графики зависимостей расхода плазменного теплоносителя через плазмотрон ($Q_{пт}$), и газоход ($Q_{гхд}$) от входной площади реакторного шибера. Влияние входной площади реакторного шибера на объёмные расходы воздуха через плазмотрон и газоход представлено на рисунках 15 и 16.

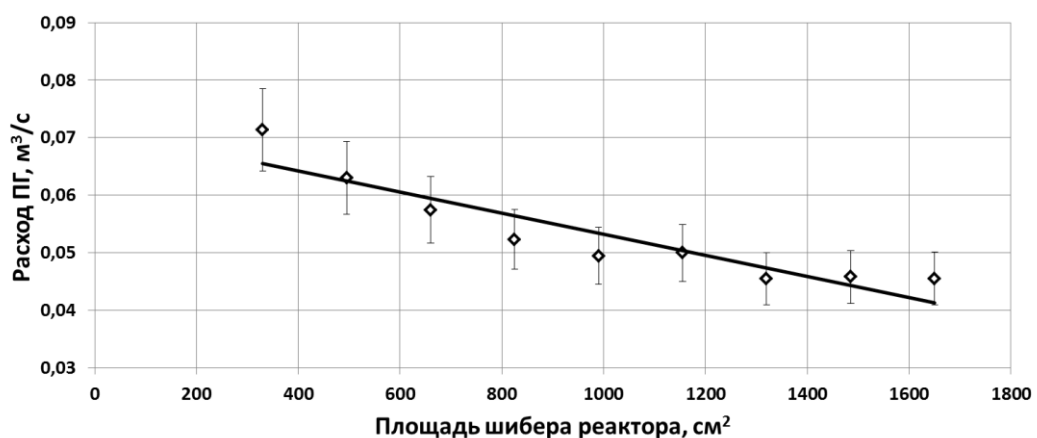


Рисунок 15 – Влияние входной площади шибера реактора на объёмный расход плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон

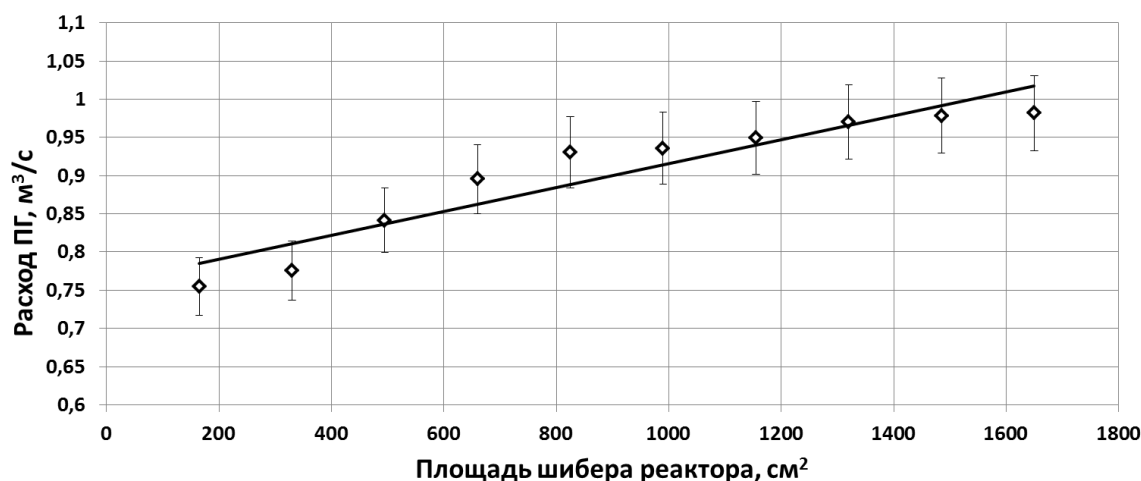


Рисунок 16 – Влияние входной площади шибера реактора на объемный расход плазмообразующего газа через газоход

Анализ полученных данных позволяет определить расход плазменного теплоносителя через плазмохимический реактор.

3.3 Определение расходов воздушного теплоносителя через реактор

Расход плазменного теплоносителя через плазмохимический реактор может быть вычислен косвенно. Для его расчета использовалась формула:

$$Q_P = Q_{ГХД} - Q_{ПТР} \quad (5)$$

где Q_P – расход плазменного теплоносителя через реактор, м³/с;

$Q_{ГХД}$ – расход плазменного теплоносителя через газоход, м³/с;

$Q_{ПТР}$ – расход плазменного теплоносителя через плазмотрон, м³/с.

На основе расчетов построены графики зависимости расходов плазменного теплоносителя через плазмохимический реактор в зависимости от входной площади реакторного шибера. Полученные зависимости представлены на рисунке 17.

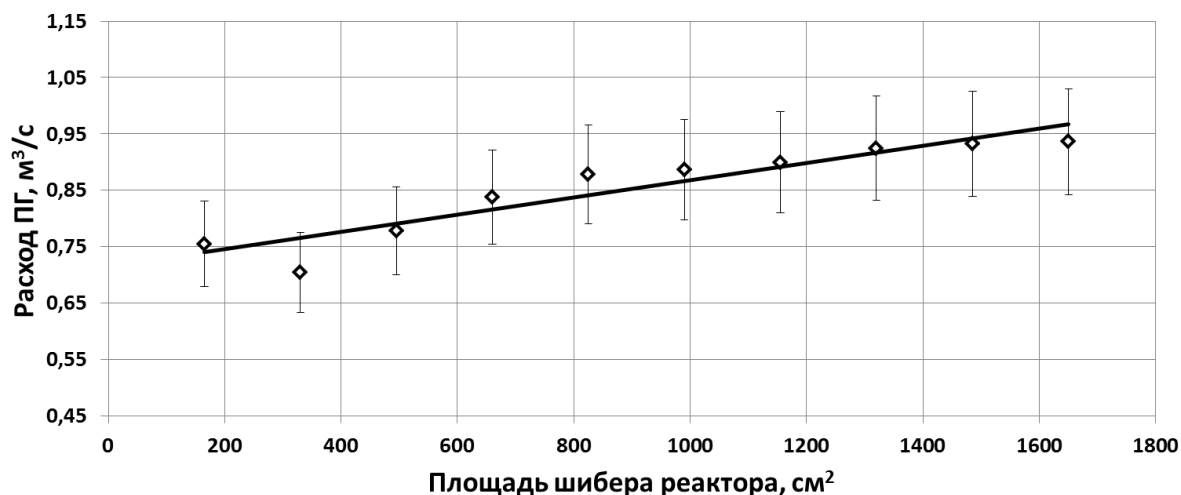


Рисунок 17 – Влияние входной площади шибера реактора на объемный расход воздушного теплоносителя через реактор

Изменение шибером входной площади позволяет осуществлять плавную регулировку расхода плазменного теплоносителя через реактор и плазмотрон.

3.4 Плазмохимическая переработка модельных ВОНР

Для подтверждения возможности прямого плазмохимического синтеза высокодисперсных порошков гомогенных оксидных композиций тория и урана в воздушно-плазменном потоке были проведены экспериментальные исследования на модельных смесевых нитратных растворах. Для подготовки модельных ВОНР были использованы соли $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (аналог уранилнитрата) и $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (аналог нитрата тория). Это обусловлено тем, что данные соединения, в растворах, формируют сложные ионы, сходные по свойствам, а также неодим находится в одной группе с ураном, а церий в одной группе с торием.

В качестве горючего компонента был использован ацетон, т.к. он обладает высокой теплотворной способностью, высокой взаимной растворимостью, а также легкой доступностью.

В таблице 3 представлен состав растворов ВОНР на основе ацетона.

Таблица 3 – Соотношение компонентов перерабатываемой ВСОК

Состав оксидной композиции	Состав раствора ВОНР, % масс.				
	H ₂ O	C ₂ H ₆ O(ацетон)	UO ₂ (NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	Th(NO ₃) ₄ ·6H ₂ O	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O
UO ₂ /(ThO ₂ +UO ₂)=0,1	ВОНР-1				
«89,1%ThO ₂ –9,9%UO ₂ –1%MgO»	28,4	29	3,512	37,866	1,221
	ВОНР-2				
«87,75%ThO ₂ –9,75%UO ₂ –2,5%MgO»	28,4	29	3,363	36,267	2,969
	ВОНР-3				
«85,5%ThO ₂ –9,5%UO ₂ –5%MgO»	28,4	29	3,133	33,788	5,667
	ВОНР-4				
«83,25%ThO ₂ –9,25%UO ₂ –7,5%MgO»	28,4	29	2,923	31,517	8,159
	ВОНР-5				
«81%ThO ₂ –9%UO ₂ –10%MgO»	28,4	29	2,729	29,43	10,44

Общий объем модельной ВОНР составил 5л.

Розжиг плазмохимического реактора осуществлялся воздушной плазменной струей ($T_{стр} \approx 565$ K), на чистом горючем компоненте – ацетоне при анодном токе $I = 3,5$ А и площади реакторного шибера $S_{шиб} = 1320$ см². После того, как в плазмохимическом реакторе устанавливалась температура на уровне 1200 °С, подача ацетона прекращалась и одновременно начиналась подача подготовленной модельной ВСОК.

Композиция поступала на вращающуюся от двигателя форсунку, которая конструкционно имела коническую форму. Форсунка диспергировала ВСОК в область горения плазменной струи, где капли подвергались обработке в условиях воздушной высокочастотной плазмы. На первом этапе происходил их нагрев до температуры испарения растворителя (воды), затем наступала стадия испарения растворителя с повышением концентрации соли (градиент – в сторону центра капли). Кристаллизованная соль, оставшаяся без растворителя, продолжала нагреваться в плазменной струе до температуры термолiza – процесса, при котором структура соли разрушается с высвобождением кислотного остатка в виде газа и образованием оксида.

Образовавшиеся в плазмохимическом реакторе дисперсные оксидные

продукты плазменной переработки модельной ВСОК поступали в узел «мокрой» очистки (УМО) плазмохимического стенда. На данной стадии осуществлялась закалка продуктов реакции водой (объем 155 л). Осажденные водой порошки формировали водную суспензию.

После завершения эксперимента образовавшаяся суспензия перекачивалась насосом в осадительную емкость объемом 250 л. По прошествии некоторого времени порошок оседал на дно емкости. Осадок собирался, высушивался и отправлялся на анализ основных физико-химических свойств.

Размер частиц порошков определялся на приборе DeslaMax PRO. Диапазон изменения прибора 0,4-10000 нм.

На рисунке 18 представлено распределение частиц по размерам в полученных порошках

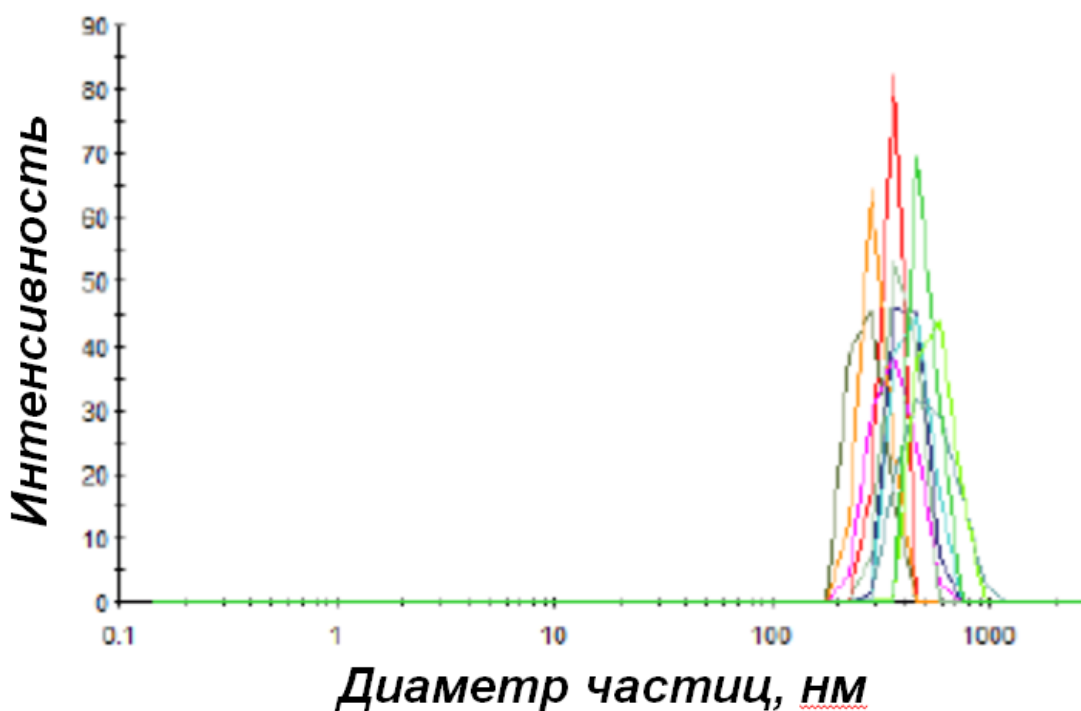


Рисунок 18 – Распределение частиц по размерам в полученных порошках

Из анализа данного рисунка и текстового выходного отчета прибора следует, что размер агломератов составляет в среднем 500 нм.

Элементный анализ полученных порошков проводился на

рентгенофлуоресцентном спектрометре марки QUANT'X EDXRF ANALYZER с чувствительностью в диапазоне от <1 ppm до 100%. Спектрограмма представлена на рисунке 19.

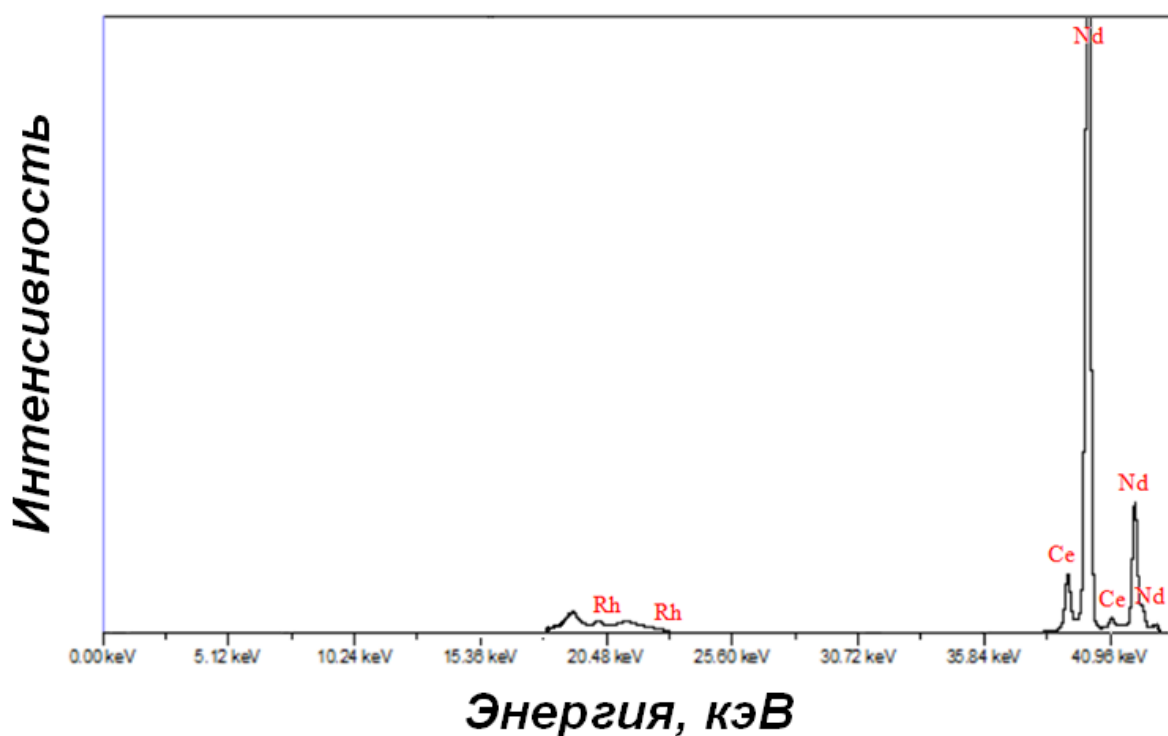


Рисунок 19 – Спектрограмма РФЛА

Согласно данным спектрограммы в исследуемой пробе содержатся Ce, Nd, Rh.

По спектрограмме проводилась оценка отношения площадей пиков для церия и неодима для косвенной оценки соотношения $Ce/(Nd+Ce)$ в полученном порошке. Из оценки отношения площадей пиков $Ce/(Nd+Ce) \approx 0,1$, можно сделать вывод о том, что массовое соотношение церия и неодима в полученных порошках и исходной модельной ВОНР (0,1) выдерживается.

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы. Необходимо оценить полные затраты на исследование (проект), а также дать приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

4.1 Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Так как число исполнителей редко превышает двух (степень распараллеливания всего комплекса работ незначительна) в большинстве случаев предпочтительным является линейный график. Для его построения хронологически упорядоченные вышеуказанные данные должны быть сведены в таблицу типа приведенной ниже.

Таблица 4 – Перечень работ

Этап работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100%

Этап работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
		И – 10%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка модели	НР, И	НР – 100% И – 70%
Определение адекватности модели	НР, И	НР – 100% И – 80%
Изучение результатов	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

4.2 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ может осуществляться двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

Первый применяется в случаях наличия достаточно развитой нормативной базы трудоемкости планируемых процессов, что в свою очередь обусловлено их высокой повторяемостью в устойчивой обстановке. Так как исполнитель работы зачастую не располагает соответствующими нормативами, то используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Аналоговый способ привлекает внешней простотой и околонулевыми затратами, но возможен только при наличии в поле зрения исполнителя НИР не устаревшего аналога, т.е. проекта в целом или хотя бы его фрагмента, который по всем значимым параметрам идентичен выполняемой НИР. В большинстве случаев он может применяться только локально – для отдельных элементов.

Экспертный способ используется при отсутствии вышеуказанных информационных ресурсов и предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения вероятных значений продолжительности работ $t_{\text{ОЖ}}$ применяется по усмотрению исполнителя одна из двух формул.

$$t_{\text{ОЖ}} = \frac{3t_{\text{min}} + 2t_{\text{max}}}{5} \quad (6)$$

$$t_{\text{ОЖ}} = \frac{t_{\text{min}} + 4t_{\text{prob}} + t_{\text{max}}}{6} \quad (7)$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

t_{prob} – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

Вторая формула дает более надежные оценки, но предполагает большую «нагрузку» на экспертов.

Для выполнения перечисленных в таблице 1 работ требуются специалисты:

- инженер – в его роли действует исполнитель ВКР;
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни.

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях:

$$T_{\text{рд}} = \frac{t_{\text{ОЖ}}}{K_{\text{вн}}} \cdot K_{\text{д}} \quad (8)$$

где $K_{\text{вн}}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей;

$K_{\text{д}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ.

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (9)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 15$).



















В таблице 5 приведено определение продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах 3 – 5 реализован экспертный способ по формуле 1, при использовании формулы 2 необходимо вставить в таблицу дополнительный столбец для t_{prob} . Столбцы 6 и 7 содержат величины трудоемкости этапа для каждого из двух участников проекта, научного руководителя и инженера, с учетом коэффициента $K_d = 1,1$.



Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{ож} \cdot K_d$. Столбцы 8 и 9 – трудоемкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на $T_K = 1,225$. Итог по столбцу 5 дает общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 8 и 9 – общие трудоемкости для каждого из участников проекта. Величины трудоемкости этапов по исполнителям ТКД, данные столбцов 8 и 9 кроме итогов, позволяют построить линейный график осуществления проекта, представленного в таблице 6.

Таблица 5 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Постановка задачи	НР	1	2	1,40	1,54	–	1,89	–
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	2	3	2,40	2,64	0,26	3,23	0,32
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	4	5	4,40	1,45	4,84	1,78	5,93
Разработка календарного плана	НР, И	1	2	1,40	1,54	0,15	1,89	0,19
Подготовка экспериментальной установки	НР, И	1	2	1,40	0,46	1,54	0,57	1,89
Проведение экспериментов	НР, И	5	6	5,40	5,94	4,16	7,28	5,09
Проведение расчетов	НР, И	7	8	7,40	8,14	6,51	9,97	7,98
Обработка результатов	И	3	4	3,40	–	3,74	–	4,58
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	3	4	3,40	–	3,74	–	4,58
Оформление графического материала	И	1	2	1,40	–	1,54	–	1,89
Подведение итогов	НР, И	1	2	1,40	0,92	1,54	1,13	1,89
Итого:				33,40	22,64	28,03	27,73	34,33

Таблица 6 – Линейный график работы

Этап	НР	И	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48
1	1,89	0,00												
2	3,23	0,32	 											
3	1,78	5,93		 										
4	1,89	0,19			 									
5	0,57	1,89				 								
6	7,28	5,09					 							
7	9,97	7,98						 						
8	0,00	4,58												
9	0,00	4,58												
10	0,00	1,89												
11	1,13	1,89											 	

НР – ; И – 

4.3 Расчет накопления готовности проекта

Цель данного пункта – оценка текущих состояний (результатов) работы над проектом. Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов по окончании текущего (i -го) этапа выполнен общий объем работ по проекту в целом.

Введем обозначения:

- $TP_{\text{общ}}$ – общая трудоемкость проекта;
- TP_i (TP_k) – трудоемкость i -го (k -го) этапа проекта, $i = \overline{1, I}$;
- TP_i^H – накопленная трудоемкость i -го этапа проекта по его завершении;
- TP_{ij} (TP_{kj}) – трудоемкость работ, выполняемых j -м участником на i -м этапе, здесь $j = \overline{1, m}$ – индекс исполнителя, в нашем примере $m = 2$.

Степень готовности определяется формулой (5)

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TP_{km}} \quad (10)$$

Применительно к таблице 5 величины TP_{ij} (TP_{kj}) находятся в столбцах (6, $j = 1$) и (7, $j = 2$). $TP_{\text{общ}}$ равна сумме чисел из итоговых клеток этих столбцов. Расчет TP_i (%) и CG_i (%) на основе этих данных приведен в таблице 7.

Таблице 7 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	TP_i , %	CG_i , %
Постановка задачи	4,19	4,19
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	7,19	11,38
Подбор и изучение материалов по тематике	13,17	24,55
Разработка календарного плана	4,19	28,74
Подготовка экспериментальной установки	4,19	32,93
Проведение экспериментов	16,17	49,10
Проведение расчетов	22,16	71,26
Обработка результатов	10,18	81,44
Оформление расчетно-пояснительной записки	10,18	91,62
Оформление графического материала	4,19	95,81
Подведение итогов	4,19	100,00

4.4 Расчет сметы на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

4.4.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того, статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н.

транзакции). Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 – 20 %. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в границах, представленных в таблице 8.

Таблица 8 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	К ол-во	С умма, руб.
Нитрат церия $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$	10500	1 кг.	1 0500
Нитрат неодима $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$	18000	1 кг.	1 8000
Ацетон	82	1 0 л.	8 20
Нитрат магния $\text{Mg}(\text{NO}_3)_3$	500	1 кг.	5 00
Итого:			2 9820

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны $C_{\text{мат}} = 29820 \cdot 1,05 = 31311$ руб.

4.4.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, в его роли выступает исполнитель проекта, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{25,083} \quad (11)$$

где 25,083 – среднее количество рабочих дней в месяце при шестидневной рабочей неделе.

Расчет затрат на полную заработную плату приведены в таблице 9. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 5. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{ПР}} = 1,1$; $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$; $K_{\text{Р}} = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку необходимо первую умножить на интегральный коэффициент:

$$K_{\text{и}} = K_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{доп.ЗП}} \cdot K_{\text{Р}}; \quad (12)$$

$$K_{\text{и}} = 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 1,699.$$

Вышеуказанное значение $K_{\text{доп.ЗП}}$ применяется при шестидневной рабочей неделе, при пятидневной оно равно 1,113, соответственно в этом случае $K_{\text{и}} = 1,62$.

Таблица 9 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад руб./мес.	Среднедневная ставка руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	$K_{\text{и}}$	Фон з/п, руб.
НР	33664	1342,10	23	1,699	52445,41
И	15470	616,75	29	1,62	28974,91
Итого:					81420,32

4.4.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту:

$$C_{\text{соц}} = C_{\text{зп}} \cdot 0,3; \quad (13)$$

$$C_{\text{соц}} = 81420,32 \cdot 0,3 = 24426,09 \text{ руб.}$$

4.4.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot C_{\text{э}}, \quad (14)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$C_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $C_{\text{э}} = 5,748 \text{ руб./кВт·час}$ (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 2 для инженера ($T_{\text{рд}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} \cdot K_t, \quad (15)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{рд}$, определяется исполнителем самостоятельно.

В ряде случаев возможно определение $t_{об}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном} \cdot K_C, \quad (16)$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности.

Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Расчет затрат на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$, час	Потребляе- мая мощность $P_{\text{ОБ}}$, кВт	Затраты $C_{\text{ЭЛ.ОБ}}$, руб.
Плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01	1	60	344,88
Персональный компьютер	224	0,3	386,3
Струйный принтер	2	0,1	1,15
Итого:			732,33

4.4.5 Расчет амортизационных расходов

В данной статье представлен расчёт амортизации используемого оборудования за время выполнения проекта по следующей формуле:

$$C_{\text{АМ}} = \frac{H_{\text{А}} \cdot t_{\text{ОБ}} \cdot C_{\text{ОБ}} \cdot n}{F_{\text{Д}}}, \quad (17)$$

где $H_{\text{А}}$ – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{\text{ОБ}}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;

$F_{\text{Д}}$ – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году;

$t_{\text{ОБ}}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Например, для ПК в 2019 г., при 298 рабочих днях и 8-ми часовом рабочем дне, $F_{\text{Д}}$ равен:

$$F_{\text{Д}} = 298 \cdot 8 = 2384.$$

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

H_A определяется как величина обратная C_A , в данном случае это:

$$H_A = \frac{1}{2,5} = 0,4$$

Зная значения всех коэффициентов, можно рассчитать:

$$C_{AM} = \frac{0,4 \cdot 224 \cdot 60000 \cdot 1}{2384} = 2255.$$

4.4.6 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов:

$$C_{ПРОЧ} = (C_{МАТ} + C_{ЗП} + C_{СОЦ} + C_{ЭЛ.ОБ} + C_{АМ}) \cdot 0,1. \quad (18)$$

Прочие расходы в нашем случае:

$$C_{ПРОЧ} = (31311 + 81420,32 + 24426,09 + 732,33 + 2255) \cdot 0,1 = 14014,47$$

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта.

Таблица 11 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{МАТ}$	31311
Основная заработная плата	$C_{ЗП}$	81420,32
Отчисления в социальные фонды	$C_{СОЦ}$	24426,09
Расходы на электроэнергию	$C_{ЭЛ.ОБ}$	415,01
Амортизационные отчисления	$C_{АМ}$	2255
Прочие расходы	$C_{ПРОЧ}$	14014,47
Итого:		153841,9

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 153841,9$ руб.

4.4.7 Расчет прибыли

Ввиду отсутствия данных, прибыль G рассчитана как 20 % от полной себестоимости проекта:

$$G = C \cdot 0,2; \quad (19)$$

$$G = 153841,9 \cdot 0,2 = 30768,38 \text{ руб.}$$

4.4.8 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли:

$$\text{НДС} = (G + C) \cdot 0,2; \quad (20)$$

$$\text{НДС} = (30768,38 + 153841,9) \cdot 0,2 = 36922,06 \text{ руб.}$$

4.4.9 Цена разработки

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$C_{\text{НИР}} = C + G + \text{НДС}; \quad (21)$$

$$C_{\text{НИР}} = 153841,9 + 30768,38 + 36922,06 = 221532,3 \text{ руб.}$$

4.5 Оценка экономической эффективности проекта

Так как исследование плазмохимического синтеза наноразмерных порошков оксидов церия и неодима в плазме ВЧФ–разряда носит исключительно научный характер, то оценка его экономической эффективности невозможна.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Одно из основных направлений профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда. Таким образом осуществляться планомерное повышение качества и эффективности средств защиты от вредных и опасных производственных факторов.

Законодательство Российской Федерации об охране труда основывается на Конституции Российской Федерации и Трудовом кодексе Российской Федерации.

Работодатель берет на себя обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда в организации. Согласно Федеральному закону от 17 июля 1999 г. №181-ФЗ "Об основах охраны труда в Российской Федерации" (с изменениями от 20 мая 2002 г., 10 января 2003 г., 9 мая, 26 декабря 2005 г.) остановимся на некоторых понятиях.

Охрана труда – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия [14].

Условия труда – совокупность факторов производственной среды и трудового процесса, оказывающих влияние на работоспособность и здоровье работника [14].

Вредный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его заболеванию.

Опасный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его травме и смерти.

Безопасные условия труда – такие условия труда, при которых воздействие вредных или опасных производственных факторов на работников исключено или уровни их воздействия не превышают

установленные нормы [14].

Рабочее место – место, в которое необходимо прибыть работнику для выполнения его работы.

Поставленные задачи требует использования достижений многих научных дисциплин, прямо или косвенно связанных с задачами создания безопасных условий труда. При разработке требований производственной санитарии используются результаты исследований ряда медицинских и биологических дисциплин [15].

Огромнейшее влияние на решение проблем охраны труда оказывает качество подготовки специалистов в этой области, их умение принимать верные решения в сложных и динамичных условиях современного производства [15].

Рабочие, служащие, инженерно-технические работники и руководящий состав обязан следовать правилам по охране труда и техники безопасности.

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Научно-исследовательская работа проводилась в отделе ядерно-топливного цикла ИШЯТ. Исследования и расчёты проводились с применением ЭВМ, также использовался ВЧФ-плазменный стенд с использованием высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13-01.

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

В таблице 12 представлены основные виды работ, которые могут привести к воздействию опасных и вредных факторов.

Таблица 12 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Факторы по ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа с химическими реактивами	Химические вредные вещества	—	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества
Работа на плазменной установке.	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.)	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность, СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона
		Пожарная опасность	ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность
Расчёт данных на ЭВМ.	Шум, вибрация, микроклимат; воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.)	Электрический ток	СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к факторам на рабочих местах», ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность

На работника лаборатории, проводящего экспериментальные исследования, могут воздействовать следующие факторы:

– физические: температура и влажность воздуха, шум, статическое электричество, электромагнитное поле низкой частоты, освещенность, наличие излучения;

- химические: вредные вещества (оксид самария, оксид неодима, диоксид церия, ацетон, оксид углерода);
- психофизиологические: физическая перегрузка (статическая динамическая), нервно-психические перегрузки (умственные перегрузки, перегрузки анализаторов, монотонность труда эмоциональные перегрузки).

Анализ проводился на основе данных таблицы 12.

5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ВЧФ-плазмотроне и ЭВМ

5.2.1 Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальное удостоверение.

5.2.2 Организация рабочего места оператора ПЭВМ

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 20.

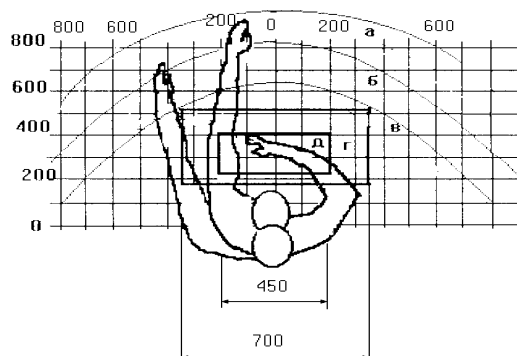


Рисунок 20 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

а – зона максимальной досягаемости рук;

б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;

в – зона легкой досягаемости ладони;

г – оптимальное пространство для грубой ручной работы;

д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура – в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); документация – в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования. Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки до

переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того, должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 градусов. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

5.2.3 Условия безопасности работы

Основные параметры, характеризующие условия труда – это: микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [16] и приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются

системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20-25 °С, зимой – 13-15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. В нашем случае источником шума является откачивающий компрессор. Согласно [17] уровень шума компрессора менее 65 дБ, что соответствует санитарным нормам [18]. Шум на рабочем месте может быть вызван работой ЭВМ. Уровень шума ЭВМ лежит в пределах 30-40 дБ, что также соответствует .

Электромагнитное излучение - распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля. ВЧФ-плазматрон питается от генератора высокочастотного тока. Генератор полностью экранирован. Согласно [19], предельно допустимая величина электромагнитного воздействия от установки на человека составляет менее 0,2 мкТл. Это значение входит в допустимый порог строгих санитарных норм электромагнитного излучения.

Экран и системные блоки ЭВМ производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Согласно [20] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 25В/м;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 2,5В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 250нТл;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 25нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкР/час. По нормам [15] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

5.3 Химическая безопасность

При эксплуатации ВЧФ плазмотрона в окружающую среду выбрасываются вредные газообразные вещества, такие как оксиды азота и углерода, с концентрацией, не превышающей нормы предельно допустимых концентраций.

В таблице 14 приведены предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности.

Классы опасности:

- 1 – вещества чрезвычайной опасности;
- 2 – вещества высоко опасные;
- 3 – вещества умеренно опасные;
- 4 – вещества мало опасные.

Таблица 14 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности

№	Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности
1	Оксид самария	4,0	3
2	Оксид неодима	4,0	3
3	Диоксид церия	5,0	3
4	Ацетон	0,35	2
5	Оксид углерода	5	3

Вентиляция — процесс удаления отработанного воздуха из помещения и замена его наружным. Система вентиляции обеспечивает отток и приток воздуха в помещении. Вентиляция обеспечивает санитарно-гигиенические условия (температуру, относительную влажность, скорость движения воздуха и чистоту воздуха) воздушной среды в помещении, благоприятные для здоровья и самочувствия человека, отвечающие требованиям санитарных норм, технологических процессов, строительных конструкций зданий, технологий хранения и т. д. Система вентиляции на плазматроне осуществляется с помощью специальных подвижных лопастей. Скорость потока воздуха через газоход (вентиляцию) равна 18,76 м/с.

При работе использовались следующие средства индивидуальной защиты : резиновые перчатки, лабораторный халат, респиратор «лепесток».

5.4 Электробезопасность

Электробезопасность – это система организационных и технических

мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ или другими электрическими приборами и установками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях: при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электрических приборов, при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции), при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением, при коротком замыкании.

Электрический ток, проходя через организм человека может оказывать на него три вида воздействий:

- термическое действие тока выражается в появлении на теле ожогов разных форм, перегревание кровеносных сосудов, нарушение функциональности внутренних органов, которые находятся на пути протекания тока;

- электролитическое действие проявляется расщеплением крови и иной органической жидкости в тканях организма;

- результатами биологического действия становятся нарушение нормальной работы мышечной системы, возникновение непроизвольных судорожных сокращений мышц, нарушению нормальной работы органов дыхания и сердца, в том числе абсолютное прекращению их функциональности.

Основными факторами поражения, которые возникают в результате действия электрического тока на человека являются:

- электрическими травмами называется местное повреждение тканей организма в результате действия электрического тока или электрической дуги, такие как электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, механические повреждения;

- электрические знаки, которые проявляются на коже человека, который подвергся действию тока, в виде пятен овальной формы серого или бледно желтого цвета, как правило, безболезненны, затвердевают подобно мозоли, со временем омертвевший слой кожи сходит самостоятельно;

- металлизация кожи возникает в результате проникновения в верхний слой кожи мелких частиц металла, который оплавился под действием электрической дуги, кожа в месте поражения становится болезненной, становится жесткой, принимает темный металлический оттенок;

- электроофтальмия наступает в результате воспаления наружной оболочки глаз под действием ультрафиолетовых лучей электрической дуги (для защиты необходимо пользоваться защитными очками и масками с цветными стеклами);

- механические повреждения – проявляются под действием тока, непроизвольным судорожным сокращением мышц. Это может привести к разрыву кожи, кровеносных сосудов и нервных тканей.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;

- вывешивание плакатов, указывающих место работы;

- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;

- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заклучение в корпуса электропоражающих элементов, заклучение в корпус токоведущих частей);
- применение средств защиты.

Электрозащитные средства – это переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги. Эти средства должны обеспечивать высокую степень защиты и удобство при эксплуатации. Их выбирают с учетом требований безопасности для данного вида работ. В первую очередь безопасность обеспечивается применением средств коллективной защиты, а затем, если она не может быть обеспечена, применяют средства индивидуальной защиты.

К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся [21]: оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть сблокированы с устройствами, отключающими рабочее напряжение при снятии, изолирующие устройства и покрытия, устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения, устройства дистанционного управления, предохранительные устройства и др.

При выполнении данной ВКР применен плазменный стенд с использованием высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13-01. Данный генератор питается от сети с промышленным напряжением 380 В, с анодным напряжением 10,4÷10,5 кВ и номинальной потребляемой мощностью 60 кВт.

При использовании данного оборудования строго выполнялись требования по электробезопасности, все операции выполнялись руководителем, имеющим допуск до работ с напряжениями свыше 1000 В.

5.5 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [21], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение лаборатории по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);

- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);

- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);

- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;

- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;

- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;

- правильное размещение оборудования;

- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении пожара сообщить руководителю, органам противопожарной безопасности предприятия и приступить к тушению пожара огнетушителем.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководству (дежурному);

- позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС по телефону – 112;

- принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

ВЫВОДЫ

1. Проведен обзор и анализ различных методов получения оксидных композиций для дисперсионного ядерного топлива, на его основе выбран способ плазмохимического синтеза в воздушной плазме.

2. На основе результатов расчёта показателей горючести водно-органических нитратных растворов определены их оптимальные составы, имеющие низшую теплотворную способность $Q_{\text{рн}} \geq 8,4$ МДж/кг и адиабатическую температуру горения $T_{\text{ад}} \approx 1200$ °С.

3. По результатам расчета равновесных составов продуктов плазмохимического синтеза оксидных композиций в воздушной плазме в широком диапазоне температур (300-4000 К) и массовых долей воздушного плазменного теплоносителя (10-90 %) определены для практической реализации режимы, обеспечивающие обработку нитратных растворов в воздушной плазме:
 $T = 1000-2000$ К, $P = 0,1$ МПа, содержание воздуха – 69 %.

4. Подготовлен плазменный стенд и проведены экспериментальные исследования, в результате которых были получены опытные партии оксидных порошков.

5. Проведены рентгенофлуоресцентный и гранулометрический анализы полученных порошков, показавшие, что пробы содержат целевые компоненты, а размер агломератов ≈ 500 нм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований могут быть использованы для создания энергоэффективной технологии плазмохимического синтеза из растворов ВОНР оксидных композиций для уран-ториевого и других видов дисперсионного топлива.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скоров Д.М., Бычков Ю.Ф., Дашковский А.М. Реакторное материаловедение. – М.: Атомиздат, 1979. – 344 с.
2. Самойлов А.Г., Каштанов А.И., Волков В.С. Дисперсионные тепловыделяющие элементы ядерных реакторов. – М.: Атомиздат, 1965. – 343 с.
3. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248 с.
4. Горский В.В. // Атомная техника за рубежом. – 1999. – Т. 10. – С. 9–13.
5. Обогащение урана / Е. Беккер, Ф. Босхотен, Б. Бриголи, Р. Дженсен, Д. Массиньон, Н. Натрат, К. Робинсон, С. Виллани. М. : Энергоатомиздат, 1983. 320 с.
6. Бойко В. И. Топливные материалы в ядерной энергетике / В. И. Бойко, Г. Н. Колпаков, О. В. Селиванова. Томск : Изд-во ТПУ, 2008. 186 с.
7. Кислородные соединения урана / В. Г. Власов, В. М. Жуковский, Е. В. Ткаченко, А. Р. Бекетов. М. : Атомиздат, 1972. 256 с.
8. Галкин Н. П. Технология переработки концентратов урана / Н. П. Галкин, А. А. Майоров, У. Д. Верятин. М. : Атомиздат, 1960. 162 с.
9. Химия и технология фтористых соединений урана / Н. П. Галкин, А. А. Майоров, У. Д. Верятин, Б. Н. Судариков, Н. С. Николаев, Ю. Д. Шишков, А. Б. Крутиков. М. : Госатомиздат, 1961. 348 с.
10. Технология урана / Н. П. Галкин, Б. Н. Судариков, У. Д. Верятин, Ю. Д. Шишков, А. А. Майоров. М. : Атомиздат, 1964. 310 с.
11. Громов Б. В. Введение в химическую технологию урана / Б. В. Громов. М. : Атомиздат, 1978. 336 с.
12. Жерин И. И. Химия урана, тория и плутония / И. И. Жерин, Г. Н. Амелина. Томск : НИТПУ, 2010. 147 с.

13. Займовский А. С. Тепловыделяющие элементы атомных реакторов / А. С. Займовский, В. В. Калашников, И. С. Головин. М. : Атомиздат, 1966. 520 с.
14. Организация, нормирование и оплата труда: Учебное пособие / А. С. Головачев, Н. С. Березина, Н. Ч. Бокун и др.; Под общ. Ред. А. С. Головачева. – М.: Новое знание, 2004. – 496 с. /Глава 5
15. Пашуто, В. П. Организация, нормирование и оплата труда на предприятии: учебно-практическое пособие / В. П. Пашуто. – М: КНОРУС, 2005. – 320 с. / Глава 7
16. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»
17. Эксплуатационная документация ВЧГ8-60/13-01, 2000 г.
18. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. –Изд. 2-е, доп. И перераб. –М.: Наука, 1972. – 720с.
19. ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества.
20. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ.
21. Пожаро и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004 – 85 ССБТ Пожарная безопасность.